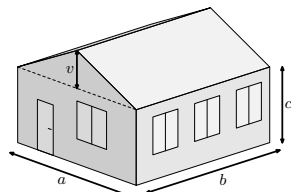


Úloha III.2 ... topení na chalupě

3 body; průměr 2,68; řešilo 130 studentů

Danka přišla uprostřed zimy na svou chalupu, kde bylo uvnitř jen $T_1 = 12^\circ\text{C}$. Zapálila proto v krbu oheň, kde topila dřevem s výhřevností $H = 14,23\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Kolik ho musí spálit, aby ohřála vzduch vevnitř na $T_2 = 20^\circ\text{C}$? Chalupa má tvar kvádra s rozměry $a = 6\text{ m}$, $b = 8\text{ m}$ a $c = 3\text{ m}$, kde c je výška stěn, a střechou ve tvaru nepravidelného ležatého trojbokého hranolu s výškou $v = 1,5\text{ m}$, jehož horní hrana je osou půdorysu chalupy. Vzduch zabírá 87% objemu chalupy, jeho hustota je $\rho_v = 1,29\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a měrná tepelná kapacita je $c_v = 1\,007\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Odpovídá výsledek očekávání? Diskutujte nad použitým jednoduchým modelem.



Dance bývá na chalupě zima.

Aby Danka ohřála vzduch v chalupě, musí získat energii spálením dřeva. Ak spáli dřevo s hmotností M , uvolní sa tým z neho teplo

$$Q = MH.$$

Ak sa všetko toto teplo odovzdá vzduchu, bude platit

$$Q = mc_v(T_2 - T_1),$$

kde m je hmotnosť vzduchu v chalupe. Tú jednoducho vypočítame ako súčin objemu a hustoty vzduchu. Celkový objem chalupy V_0 je súčet objemu kvádra vymedzeného stenami chalupy a trojbokého ihlanu tvoriaceho strechu chalupy. Objem ihlanu sa rovná $avb/2$. Následne objem chalupy je

$$V_0 = abc + \frac{1}{2}avb = ab\left(c + \frac{1}{2}v\right).$$

Keďže vieme, že vzduch zaberá len $\eta = 0,87$ z objemu celej chalupy, môžeme napísať

$$Q = \eta ab\left(c + \frac{1}{2}v\right)\rho_v c_v(T_2 - T_1).$$

Nakoniec dosadíme do tejto rovnice vzťah zo začiatku riešenia, vyjadríme potrebnú hmotnosť dreva a dostaneme

$$M = \frac{\eta\rho_v c_v}{H} ab\left(c + \frac{1}{2}v\right)(T_2 - T_1).$$

Po dosadení zadaných hodnôt dostaneme, že Danke stačí spáliť $M \approx 0,11\text{ kg}$ dreva.

Keď sa zamyslíme, uvedomíme si, že v reálnom živote to takto nefunguje. Určite nestačí spáliť iba sto gramov dreva na to, aby sme zohřáli vzduch v chalupě o niekoľko stupňov. Z vlastných skúseností by sme to skôr odhadli na niekoľko kilogramov. Náš jednoduchý model je teda nesprávny. Predpokladá totižto, že všetko teplo získané spálením dreva, sa bez strát využije na ohrev vzduchu a iba vzduchu.

V skutočnosti hrá pri ohrievaní chalupy rolu niekoľko ďalších faktorov. Najdôležitejším z nich je, že účinnosť odovzdaného tepla zďaleka nie je stopercentná. Veľké množstvo teplého vzduchu uniká hore komínom preč z chalupy. Steny komína sa zohrievajú, pričom budú odovzdávať teplo obklopujúcemu vzduchu v chalupě. Musíme taktiež myslieť na to, že merná tepelná kapacita steny z betónu je rádo podobná mernej tepelnej kapacite vzduchu ¹, ale stena má o niekoľko rádov vyššiu hustotu. Preto celkové teplo potrebné na ohriatie steny je oveľa väčšie ako

¹https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Specific_heat_capacity

pre ohriatie vzduchu. Podobne je to aj s predmetmi vnútri chalupy. Ak je chalupa vybavená nejakým nábytkom z dreva, plastu či látky, ten pohltí omnoho viac tepla ako samotný vzduch. V zadaní síce hovoríme iba o ohriatí vzduchu, ale v skutočnosti nemôžeme zanedbať tepelnú výmenu medzi vzduchom v chalupe a predmetmi v nej. Pokiaľ sú predmety chladnejšie ako vzduch, teplo prúdi zo vzduchu do týchto predmetov, čím sa spätne ochladzuje. Aby sme dosiahli stabilnú teplotu vzduchu v miestnosti, musia aj všetky predmety v miestnosti nadobudnúť túto teplotu. Ďalší jav, ktorý sme v riešení nevzali do úvahy, je tepelná izolácia samotnej chalupy. Predpokladali sme, že chalupa je tepelne izolovaná. Avšak u reálnej chalupy dochádza k významnej tepelnej výmene s okolím, pričom jej miera závisí na materiálu chalupy, kvalite izolácie stien a na tom, ako dobre sú utesnené okná a dvere.

Ak by sme zohľadnili všetky tieto faktory, bolo by možné spočítať skutočnú hmotnosť spáleného dreva potrebnú na zohriatie vzduchu v chalupe. Potom by podiel hodnoty získanej jednoduchým výpočtom vyššie a skutočnej hodnoty, popisoval niečo, ako účinnosť odovzdanej energie z dreva vzduchu. Ako vidíme podľa nereálne malej hmotnosti získanej výpočtom, táto účinnosť je veľmi nízka.

Daniela Dupkalová
daniela@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.